ACRP Advisory Committee on Radiological Protection

CCRP Comité consultatif de la radioprotection

An Advisory Committee of the Atomic Energy Control Board of Canada — Secretariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

Comité consultatif de la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada — Secrétariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

INFO-0121

ACRP Advisory Committee on Radiological Protection

CCRP Comité consultatif de la radioprotection

ACRP-6

HARM TO OFFSPRING OF WOMEN OF CHILDBEARING AGE EMPLOYED IN THE NUCLEAR INDUSTRY

by the

Advisory Committee on Radiological Protection

February 1984

An Advisory Committee of the Atomic Energy Control Board of Canada — Secretariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

Comité consultatif de la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada — Secretariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

Committee Reports

Since the 1950's the Atomic Energy Control Board has made use of advisory committees of independent experts to assist it in its decision-making process. In 1979 the Board restructured the organization of these consultative groups, resulting in the creation of two senior level scientific committees charged with providing the Board with independent advice on principles, standards and general practices related to radiation protection and the safety of nuclear facilities. The two committees are the Advisory Committee on Radiological Protection (ACRP), formed in 1979, and the Advisory Committee on Nuclear Safety (ACNS), which was established a year later. Summaries of meetings of the committees are available to the public in the AECB library in Ottawa.

From time to time the committees issue reports which are normally published by the AECB and catalogued within the AECB's public document system. Committee reports, bound with a distinctive cover, carry both a committee-designated reference number, e.g. ACRP-1, and an AECB reference number in the "INFO"-series. The reports generally fall into two broad categories: (i) recommendations to the Board on a particular technical topic, and (ii) background studies. Unless specifically stated otherwise, publication by the AECB of a committee report does not imply endorsement by the Board of the content, nor acceptance of any recommendations made therein.

The following report was prepared by the Standing Subcommittee on Risk Estimates (SCRE) of the Advisory Committee on Radiological Protection (ACRP) and endorsed by the ACRP at its January 1984 meeting.

The members of the Subcommittee on Risk Estimates at the time of preparation of this report were:

Dr. J. Muller, Chairman
Dr. T.W. Anderson
Dr. G.W. Gibbs
Dr. D.K. Myers
Dr. H.B. Newcombe
Dr. G.B. Hill

Dr. M. Rao Avadhanula, Secretary

HARM TO OFFSPRING OF WOMEN OF CHILDBEARING AGE EMPLOYED IN THE NUCLEAR INDUSTRY

Introduction and Purpose

The current Atomic Energy Control regulations specify a reduced whole body maximum permissible dose rate for female atomic radiation workers of reproductive capacity. This requirement is not necessarily in agreement with regulations applicable in other jurisdictions. The 1965 recommendations of ICRP (para. 62-65 of ICRP 9) suggest that occupational doses to women of reproductive capacity should be limited to 1.3 rem per quarter year, and when a pregnancy has been diagnosed, arrangements should be made to ensure that the dose to the foetus should not exceed 1 rem during the remaining period of pregnancy. These recommendations have remained essentially unaltered in 1977 (para. 115-116 of ICRP 26).

The purpose of this report is to evaluate risk arising from employing women of childbearing age in occupations where exposure to ionizing radiation is likely. A decision in this matter is of great socio-economic importance as some 70% of the female work force and some 30% of the total work force are women of childbearing age. A very substantial part of the female work force would be excluded from certain interesting and rewarding work if present limitations to the employment of women were continued in the future.

Risk of Harm to Offspring of Women of Childbearing Age Exposed to Ionizing Radiation in the Nuclear Industry

The likelihood of being pregnant is dependent on the age of the woman, and attains its highest value at about the age of 26 or 27 years, declining to approach zero at the age of about 45 years. It is estimated that in Canada about 7% of the women age 18 to 45 years give live birth to a child in any given year. For the purpose of the present report it is assumed that the rate of pregnancies in women employed in the nuclear industry is the same as in the population at large. This assumption is likely to be conservative.

For the purpose of the report it is further assumed that the period of unrecognized pregnancy is 60 days. This assumption might well also be conservative.

Risk Per Unit Exposure During the First 60 Days of Pregnancy

a) Failure to Implant: the critical period for this effect is assumed to be eight days. According to ICRP 27 the risk per rem is 8×10^{-3}. This risk factor is based on experimental data in animals only. These experiments also indicate that failure to implant is the sole consequence of exposure during this period, and that where implantation does occur the embryo develops normally.

b) Congenital Malformations: The only congenital malformation observed in Hiroshima and Nagasaki was small head circumference with or without associated mental retardation. Induction of mental retardation might well be a threshold phenomenon occuring at doses in excess of 50 rad. This would imply that doses less than 50 rad would cause no such non-threshold effect. If however for reasons of prudence we decide to assume a non-threshold effect, we get risk factors greater than zero even at doses less than 50 rem. This latter approach was actually taken for the purpose of the present report. According to UNSCEAR 1969, Mole 1982 and ICRP 34 the critical period for induction of mental retardation is the third and fourth month of pregnancy. If however one averages the risk over the total period of pregnancy, an appropriate risk factor according to UNSCEAR 1977 would be about 10^{-3} per rem.

c) Induction of Cancer including Leukemia: Studies by Stewart and colleagues in the U.K. and by MacMahon in the U.S.A. indicate that there is an association between exposure in utero to diagnostic x-rays and an increased risk of leukemia and cancer during the first 10 years of post-uterine life. From these studies UNSCEAR derived a risk estimate of 2×10^{-4} per rem and BEIR III of 6×10^{-4} per rem. These values have not been confirmed by follow-up of children exposed to radiation in utero in Hiroshima and

Nagasaki (Jablon 1970). For the purpose of further calculations it is assumed that the risk factor is 6×10^{-4} per rem (even though it is not unlikely that the true risk per rem is much lower).

d) Induction of Hereditary Disorders: The risk of a child being born with a hereditary disorder caused by irradiation of the parents' gonads can be taken to be about 2×10^{-5} per rem (UNSCEAR 1982) with a potential range from 0.5 to 7.5×10^{-5} per rem (BEIR 1980). If all subsequent generations are considered the cumulative total number of hereditary defects would be about 8 times greater. Similar risks may be applicable for the induction of genetic disorders evident in a grandchild after exposure of the developing child in utero. Radiation exposure during the brief period between fertilization and the beginning of cell division in the embryo may result in a very small additional risk of inducing XO females or Turner syndrome (BEIR 1980). These risks are not included in subsequent calculations since they contribute very little to the total likelihood of harm resulting from exposure in utero. The normal incidence of hereditary and partially hereditary disorders in the general population is 10-11% (UNSCEAR 1977, 1982; BEIR 1980).

Resulting Calculated Risks of Harm

Using data on risk factors per rem, critical periods for individual end points, and the proportion of women pregnant per year, the risk of harm to offspring was calculated according to equations given in Table 1. The results of that calculation per woman employed per rem per year are given in Table 2.

The risks indicated in Table 2 apply to the first 60 days of pregnancy. Where an exposure is extended over the total pregnancy the risks of induction of cancer and of mental retardation would be higher by a factor of about five.

The combined risk of mental retardation and cancer per live born child exposed in utero, is of course greater than that per exposed female, by a factor of 14 (i.e. 1/0.07). The resulting risks per rem per year are indicated in Table 2. The genetic risk given in Table 2 is based on consideration only of exposure of the gonads of unborn children.

Application of these Results to Exposure in Nuclear Power Generating Stations

The calculated risk factors indicated in Table 2 were applied to exposure data from a nuclear power generating station. As an example Pickering Nuclear Generating Station data for the year 1981 were used. Employees were divided into five main groups: operators, control maintenance workers, mechanical maintenance workers, service maintenance workers, and chemical technologists. The average annual exposures for these groups were 1.2, 1.6, 1.9, 1.1 and 1.0 rem respectively. Only employees with exposures of 10 mrem or more per quarter year were included in this calculation. As there are radiation workers who accumulate less than the 10 mrem per quarter, this calculation introduces a degree of conservatism. The results of the calculation are summarized in Table 3.

A number of conservative assumptions were made in deriving the risk factors used. The maximum harm that can be expected to be produced as a result of exposure of 1,000 women as mechanical maintenance workers under the above conditions would be 3 cases in all, of either congenital malformation or cancer, per 100 years.

REFERENCES

BEIR III. "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels on Ionizing Radiation", Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation, Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences, Washington D.C., 1980.

ICRP Publication 9. "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection" (Adopted 17 September 1965), Pergamon Press, Oxford, 1966.

ICRP Publication 26. "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", Pergamon Press, Oxford, 1977. Annals of the ICRP 1 (3), 1977.

ICRP Publication 27. "Problems Involved in Developing an Index of Harm", A report prepared for the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 4, 1977. Pergamon Press Ltd.

ICRP Publication 34. "Protection of the Patient in Diagnostic Radiology", Annals of the ICRP 9 No. 2/3, 1982, Pergamon Press, Oxford.

Jablon S. and Kato H. "Childhood Cancer in Relation to Prenatal Exposure to Atomic Bomb Radiation", Lancet, Vol. 2, p. 1000, 1970.

Létourneau E.G., Muller J. and Myers D.K. "The Female Atomic Radiation Worker", Presented at the 4th Annual Conference of the Canadian Radiation Protection Association, Toronto, May 3-5, 1983.

MacMahon B. "Prenatal X-ray Exposure and Childhood Cancer", JNCI, Vol. 28, p. 1173, 1962.

Mole R. H. "Consequences of Prenatal Radiation Exposure for Post-natal Development", Int. J. Rad. Biol., Vol. 42, p. 1, 1982.

Stewart A., Webb J. and Hewitt D. "Survey of Childhood Malignancies", Brit. Med. J., Vol. 1, p. 1495, 1958.

Stewart A. and Kneale G. W. "Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-rays and Childhood Cancers", Lancet, Vol. 1, p. 1185, 1970.

UNSCEAR 1969. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. United Nations 1969.

UNSCEAR 1977. "Sources and Effects of Ionizing Radiation", United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1977 Report. United Nations 1977.

UNSCEAR 1982. "Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects". United Nations 1982.

TABLE 1
RISK OF HARM TO OFFSPRING
ENDPOINT I

$$R_I = \frac{CP_I}{365} \times D \times P \times RF_I$$

$$\bar{R}_I = \frac{CP_I}{365} \times D \times RF_I$$

R_I - RISK OF HARM TO OFFSPRING FROM ENDPOINT I PER YEAR PER WOMAN EMPLOYED

$\bar{R}_I$ - RISK OF HARM TO OFFSPRING FROM ENDPOINT I PER LIVE BORN CHILD

CP_I - CRITICAL PERIOD (DAYS) PER ENDPOINT I

D - DOSE PER YEAR PER PERSON

RF_I - RISK FOR EFFECT I (RISK PER REM PER UNBORN CHILD)

P - PROPORTION OF WOMEN PREGNANT PER YEAR

TABLE 2

CALCULATED MAXIMUM RISK OF HARM TO OFFSPRING PER WOMAN EMPLOYED PER REM PER YEAR

AGE DISTRIBUTION OF FEMALES AS IN ONTARIO LABOUR FORCE

END POINT	RISK TO OFFSPRING PER WOMAN OF CHILDBEARING AGE $\times 10^{-5}$	RISK PER LIVE BORN CHILD $\times 10^{-4}$
Failure of Implantation	1.2	-
Mental Retardation	1.0	1.4
Cancers	0.6	0.8
Genetic	0.1	0.2

TABLE 3

RESULT OF RISK CALCULATION BASED ON
1981 RADIATION EXPOSURES OF PICKERING STATION WORKERS

MAXIMUM RISK TO OFFSPRING PER WOMAN OF
CHILDBEARING AGE EMPLOYED x 10^{-5}

END POINT	OPERATOR	CONTROL MTNC	MECH MTNC	SERVICE MTNC	CHEM TECH
FAILURE TO IMPLANT	1.5	1.9	2.4	1.3	1.2
MENTAL RETARDATION	1.2	1.6	1.9	1.1	1.0
CANCER	0.7	0.9	1.1	0.6	0.6

NORMAL RISK OF ALL CONGENITAL MALFORMATIONS = 3000 - 4000 x 10^{-5}

NORMAL RISK OF MENTAL RETARDATION = 400 - 500 x 10^{-5}

NORMAL CANCER RISK INCLUDING LEUKEMIA BEFORE AGE TEN:

FATAL = 60 x 10^{-5}

TOTAL = 130 x 10^{-5}

ACRP Advisory Committee on Radiological Protection

CCRP Comité consultatif de la radioprotection

An Advisory Committee of the Atomic Energy Control Board of Canada — Secretariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

Comité consultatif de la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada — Secrétariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

INFO-0121

ACRP Advisory Committee on Radiological Protection

CCRP Comité consultatif de la radioprotection

CCRP-6

DOMMAGE CAUSÉ AUX ENFANTS DES FEMMES EN ÂGE DE PROCRÉER EMPLOYÉES DANS L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

par le

Comité consultatif de la radioprotection

février 1984

An Advisory Committee of the Atomic Energy Control Board of Canada — Secretariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

Comité consultatif de la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada — Secrétariat: Ottawa, Canada K1P 5S9

RAPPORTS DES COMITÉS

Depuis les années 1950, la Commission de contrôle de l'énergie atomique a recours à des comités consultatifs composés d'experts indépendants pour l'aider dans ses prises de décision. En 1979, la CCEA a restructuré l'organisation de ces groupes de consultation pour former deux comités scientifiques supérieurs chargés de lui fournir des conseils indépendants à l'égard des principes, des normes et des méthodes générales touchant la radioprotection et la sûreté des installations nucléaires: ce sont le Comité consultatif de la radioprotection (CCRP), formé en 1979, et le Comité consultatif de la sûreté nucléaire (CCSN), établi l'année suivante. Le public peut consulter les comptes rendus des réunions des comités à la bibliothèque de la CCEA, à Ottawa.

De temps en temps, les comités préparent des rapports qui sont normalement publiés par la CCEA et catalogués dans la collection des documents publics de la CCEA. Reliés sous une couverture particulière, les rapports des comités sont identifiés par un numéro de référence attribué par le comité d'origine, comme CCRP-1, et par un numéro de référence donné par la CCEA dans la série "INFO". Les rapports se divisent habituellement en deux catégories générales: (i) recommandations présentées à la Commission concernant un sujet d'ordre technique particulier, et (ii) études générales. À moins d'indication contraire, toute publication d'un rapport de comité effectuée par la CCEA ne signifie pas que la Commission approuve le contenu de la publication, ni qu'elle accepte les recommandations qui y sont faites.

Le présent rapport a été préparé par le Sous-comité permanent de l'évaluation des risques (SCER) du Comité consultatif de la radioprotection (CCRP), et a été approuvé par ce dernier lors de sa réunion de janvier 1984.

Au moment de la préparation du rapport, le Sous-comité de l'évaluation des risques était composé des membres suivants:

J. Muller, président
T.W. Anderson
G.W. Gibbs
D.K. Myers
H.B. Newcombe
G.B. Hill

M. Rao Avadhanula, secrétaire

DOMMAGE CAUSÉ AUX ENFANTS DES
FEMMES EN ÂGE DE PROCRÉER EMPLOYÉES
DANS L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

Introduction et objectif

Le Règlement actuel sur le contrôle de l'énergie atomique stipule un débit de dose maximal admissible au corps entier inférieur pour les travailleuses sous rayonnements en état de procréer. Cette exigence n'est pas nécessairement conforme aux règlements en vigueur dans d'autres juridictions. Dans ses recommandations de 1965, la CIPR (CIPR 9, par. 62-65) suggérait de limiter les doses professionnelles aux femmes en état de procréer à 1,3 rem par trimestre et de prendre les dispositions nécessaires, une fois la grossesse confirmée, pour assurer que la dose au foetus ne dépasse pas 1 rem pendant le reste de la période de grossesse. Les recommandations émises en 1977 sont demeurées essentiellement les mêmes (CIPR 26, par. 115-116).

Le but du présent rapport est d'évaluer le risque qui survient lorsque des femmes en âge de procréer occupent des postes où l'exposition aux rayonnements ionisants est probable. Toute décision prise à cet égard est de grande importance sur le plan socio-économique dans la mesure où quelque 70% de la main-d'oeuvre féminine et quelque 30% de l'ensemble de la main-d'oeuvre sont constitués de femmes en âge de procréer. Une partie très importante de la main-d'oeuvre féminine serait exclue de certains postes intéressants et rémunérateurs si les mesures de restrictions d'emploi actuelles concernant les femmes se poursuivaient.

Risques de dommage causé aux enfants des femmes en âge de procréer exposées aux rayonnements ionisants dans l'industrie nucléaire

La probabilité de grossesse dépend de l'âge de la femme et est la plus élevée vers l'âge de 26 ou 27 ans, pour ensuite décroître jusqu'à près de zéro vers l'âge d'environ 45 ans. Au Canada, on évalue à environ 7% le pourcentage annuel de femmes âgées de 18 à 45 ans qui accouchent d'un enfant vivant à la naissance. Aux fins du présent rapport, on assume que le taux de grossesse chez les femmes employées dans l'industrie nucléaire est le même que celui de la population en général. Cette hypothèse est probablement prudente. Toujours aux fins du présent rapport, on assume en outre que la période de grossesse non reconnue est de 60 jours, ce qui représente également sans doute une hypothèse prudente.

Risque par unité d'exposition pendant les 60 premiers jours de grossesse

a) Non-fixation de l'embryon: on évalue la période critique à huit jours. Selon ICRP 27, le facteur de risque par rem est 8×10^{-3}, d'après des données expérimentales relatives aux animaux uniquement. Ces expériences indiquent, en outre, que la non-fixation de l'embryon est la seule conséquence de l'exposition subie pendant cette période et que, lorsqu'il y a fixation, l'embryon se développe normalement.

b) Malformation congénitales: la seule malformation congénitale observée à Hiroshima et à Nagasaki était la petite circonférence de la tête associée ou non à l'arriération mentale. La provocation de l'arriération mentale pourrait très bien être un phénomène seuil apparaissant dans le cas de doses supérieures à 50 rad. On pourrait en déduire, par conséquent, que des doses inférieures à 50 rad ne causeraient aucun effet de ce genre. Si, par contre, pour des questions de prudence, on décide d'admettre un effet sans seuil, on obtient des facteurs de risque supérieurs à zéro, même à des doses inférieures à 50 rem. Cette dernière approche est celle que l'on a adoptée aux fins du présent rapport. Conformément aux documents UNSCEAR 1969, Mole 1982 et ICRP 34, la période critique de provocation de l'arriération mentale correspond aux troisième et quatrième mois de grossesse. Si, toutefois, on fait la moyenne du risque pour la période totale de la grossesse, le facteur de risque approprié serait de 10^{-3} par rem, selon Sources et effets des rayonnements ionisants (1977), publié par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des rayonnements ionisants (UNSCEAR en anglais).

c) Provocation du cancer, y compris la leucémie: des études menées au Royaume-Uni par Stewart et ses collègues, et aux États-Unis par MacMahon, indiquent qu'il existe un lien entre l'exposition in utero aux rayons X utilisés pour diagnostic et le risque accru de leucémie et de cancer pendant les dix premières années de vie post-utérine. À partir des études susmentionnées, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des rayonnements ionisants a dérivé un risque estimatif de 2×10^{-4} par rem et BEIR III, de 6×10^{-4} par rem. Ces valeurs n'ont pas été confirmées par le suivi des enfants exposés in utero aux rayonnements, à Hiroshima et à Nagasaki (Jablon, 1970). Aux fins de calculs ultérieurs, on suppose que le facteur de risque est de 6×10^{-4} par rem (bien qu'il ne soit pas improbable que le risque réel par rem soit beaucoup plus faible).

d) Provocation de troubles héréditaires: on peut évaluer le risque qu'un enfant soit atteint d'un trouble héréditaire à la naissance, dû à l'irradiation des gonades des parents, à environ 2×10^{-5} par rem (UNSCEAR 1982) avec une étendue potentielle de $0,5$ à $7,5 \times 10^{-5}$ par rem (BEIR 1980). Si l'on prend en considération toutes les générations ultérieures, le nombre total cumulatif de tares héréditaires serait d'environ 8 fois supérieur. On peut considérer que la provocation de troubles génétiques relevés chez un enfant de la deuxième génération à la suite d'une exposition du foetus in utero comporte des risques semblables. L'exposition aux rayonnements pendant la brève période qui se situe entre la fécondation et le début de la division cellulaire de l'embryon pourra entraîner un très faible risque additionnel d'embryons femelles XO, soit de syndrome Turner (BEIR 1980). On ne tient pas compte de ces risques dans les calculs ultérieurs, étant donné leur très faible contribution à la probabilité totale de dommage dû à l'exposition in utero. Le taux normal de troubles entièrement héréditaires et partiellement héréditaires dans la population en général est de 10 à 11% (UNSCEAR 1977 français, UNSCEAR 1982 anglais, BEIR 1980).

Risques calculés de dommage réel

À partir de données sur les facteurs de risque par rem, sur les périodes critiques pour les points limites individuels et sur la proportion de femmes enceintes par année, on a calculé le risque de dommage réel aux enfants conformément aux équations présentées au Tableau 1. Les résultats de ce calcul, par femme employée par rem par année, figurent au Tableau 2.

Les risques indiqués au Tableau 2 s'appliquent aux 60 premiers jours de grossesse. Dans le cas où une exposition se prolongerait pendant toute la grossesse, les risques de provocation de cancer et d'arriération mentale seraient accrus par un facteur d'environ cinq.

Le risque combiné d'arriération mentale et de cancer par enfant vivant à la naissance exposé in utero est, bien entendu, plus élevé que le risque par femme exposée, d'un facteur de 14, soit 1/0,07. Les risques qui s'ensuivent, par rem par année, figurent au Tableau 2. Le risque génétique indiqué au Tableau 2 est uniquement basé sur l'exposition des gonades d'enfants qui ne sont pas encore nés.

Application des résultats susmentionnés
à l'exposition dans les centrales nucléaires

On a appliqué les facteurs de risque calculés, notés au Tableau 2, aux données sur l'exposition dans une centrale nucléaire. Par exemple, on a eu recours aux données de la centrale Pickering pour 1981. On a divisé les employés en cinq groupes principaux: les opérateurs, les travailleurs affectés à la maintenance des systèmes de contrôle, les travailleurs affectés à la maintenance mécanique, les travailleurs affectés à l'entretien général et les technologues en chimie. On a évalué à 1,2, 1,6, 1,9, 1,1 et 1,0 rem, respectivement, les expositions annuelles moyennes pour chacun de ces groupes. Ce calcul ne comprend que les employés ayant reçu des expositions équivalentes ou supérieures à 10 mrem par trimestre. Dans la mesure où certains travailleurs sous rayonnements reçoivent moins de 10 mrem par trimestre, ce calcul comporte une marge de prudence. Le Tableau 3 résume les résultats du calcul.

On a émis un certain nombre d'hypothèses prudentes au cours de la dérivation des facteurs de risque utilisés. Le dommage maximal qu'on peut prévoir à la suite de l'exposition de 1 000 femmes de la catégorie des travailleurs affectés à la maintenance mécanique, conformément aux conditions susmentionnées, serait de trois cas de malformation congénitale ou de cancer par 100 ans, dans l'ensemble.

BIBLIOGRAPHIE

COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE, Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (adoptées le 17 septembre 1965), CIPR 9, Saclay, Commissariat à l'énergie atomique, s.d.

COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE, Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (adoptées le 17 janvier 1977), CIPR 26, Annales de la CIPR, vol. 1, n°3, Oxford, Pergamon Press, 1977.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Problems Involved in Developing an Index of Harm, ICRP 27, Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 4, Oxford, Pergamon Press, 1977.

INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection of the Patient in Diagnostic Radiology, ICRP 34, Annals of the ICRP, Vol. 9, Nos. 2-3, Oxford, Pergamon Press, 1982.

JABLON, S. and KATO, H., "Childhood Cancer in Reaction to Prenatal Exposure to Atomic Bomb Radiation", in Lancet, Vol. 2, 1970, p. 1000.

LÉTOURNEAU, E.G., MULLER, J. and MYERS, D.K., "The Female Atomic Radiation Worker", presented at the 4th Annual Conference of the Canadian Radiation Protection Association, Toronto, May 3-5, 1983.

MacMAHON, B., "Prenatal X-Ray Exposure and Childhood Cancer", in Journal of the National Cancer Institute, Vol. 28, 1962, p. 1173.

MOLE, R.H., "Consequences of Prenatal Radiation Exposure for Post-Natal Development", in International Journal of Radiation Biology, Vol. 42, 1982, p. 1.

ORGANISATION DES NATIONS UNIES. COMITÉ SCIENTIFIQUE POUR L'ÉTUDE DES RAYONNEMENTS IONISANTS, Sources et effets des rayonnements ionisants, New York, Nations Unies, 1977.

STEWART, A., WEBB, J. and HEWITT, D., "Survey of Childhood Malignancies", in British Medical Journal, Vol. 1, 1958, p. 1495.

STEWAKT, A. and KNEALE, G.W., "Radiation Dose Effects in Relation to Obstetric X-Rays and Childhood Cancers", in Lancet, Vol. 1, 1970, p. 1185.

UNITED NATIONS. SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Report, New York, United Nations, 1969.

UNITED NATIONS. SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, New York, United Nations, 1982.

UNITED STATES. NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE. COMMITTEE ON THE BIOLOGICAL EFFECTS OF IONIZING RADIATION, The Effects on Populations of Exposures to Low Levels on Ionizing Radiation (BEIR III), Washington, 1980.

TABLEAU 1

RISQUE DE DOMMAGE CHEZ LES ENFANTS
POINT LIMITE I

$$R_I = \frac{CP_I}{365} \times D \times P \times RF_I$$

$$\overline{R_I} = \frac{CP_I}{365} \times D \times RF_I$$

R_I = RISQUE DE DOMMAGE CHEZ LES ENFANTS POUR LE POINT LIMITE I, PAR ANNÉE PAR FEMME EMPLOYÉE

$\overline{R_I}$ = RISQUE DE DOMMAGE CHEZ LES ENFANTS POUR LE POINT LIMITE I, PAR ENFANT VIVANT À LA NAISSANCE

CP_I = PÉRIODE CRITIQUE (EN JOURS) POUR LE POINT LIMITE I

D = DOSE PAR ANNÉE PAR PERSONNE

RF_I = RISQUE D'EFFET I (RISQUE PAR REM PAR ENFANT NON ENCORE NÉ)

P = TAUX DE FEMMES ENCEINTES PAR ANNÉE

TABLEAU 2

RISQUE MAXIMAL CALCULÉ DE DOMMAGE CHEZ LES ENFANTS
PAR FEMME EMPLOYÉE PAR REM PAR ANNÉE

DISTRIBUTION D'ÂGE DES FEMMES CONFORME À CELLE DE LA MAIN-D'OEUVRE EN ONTARIO

POINT LIMITE	RISQUE CHEZ LES ENFANTS PAR FEMME EN ÂGE DE PROCRÉER, x 10^{-5}	RISQUE PAR ENFANT VIVANT À LA NAISSANCE, x 10^{-4}
Non-fixation de l'embryon	1,2	--
Arriération mentale	1,0	1,4
Cancers	0,6	0,8
Génétique	0,1	0,2

TABLEAU 3

RÉSULTATS DU CALCUL DE RISQUE BASÉ SUR LES EXPOSITIONS
AUX RAYONNEMENTS DES TRAVAILLEURS DE LA CENTRALE PICKERING EN 1981

RISQUE MAXIMAL CHEZ LES ENFANTS PAR FEMME EN ÂGE
DE PROCRÉER EMPLOYÉE, x 10^{-5}

POINT LIMITE	OPÉRATEUR	MAINTENANCE DES SYSTÈMES DE CONTRÔLE	MAINTENANCE MÉCANIQUE	ENTRETIEN GÉNÉRAL	TECHNOLOGUE EN CHIMIE
NON-FIXATION DE L'EMBRYON	1,5	1,9	2,4	1,3	1,2
ARRIÉRATION MENTALE	1,2	1,6	1,9	1,1	1,0
CANCER	0,7	0,9	1,1	0,6	0,6

RISQUE NORMAL POUR TOUTE MALFORMATION CONGÉNITALE = 3 000 à 4 000 x 10^{-5}

RISQUE NORMAL D'ARRIÉRATION MENTALE = 400 à 500 x 10^{-5}

RISQUE NORMAL DE CANCER, Y COMPRIS LA LEUCÉMIE, AVANT L'ÂGE DE DIX ANS:

FATAL = 60 x 10^{-5}
TOTAL = 130 x 10^{-5}